

明細書

送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、プログラム

5 技術分野

本発明は、低密度パリティチェック (Low Density Parity Check ; L D P C) 符号を用いて対角成分以外の成分が 0 であるユニタリ行列による変復調を用いて効率良く通信を行う送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、
10 これらをコンピュータ上にて実現するためのプログラムに関する。

背景技術

従来から、O F D M (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 変復調に関連
15 する技術や、ユニタリ行列を用いた変復調に関連する技術について、以下の文献に開示されている。

[特許文献 1] 特開 2 0 0 2 - 1 8 5 4 2 8 号公報

[特許文献 2] 特開 2 0 0 1 - 2 8 5 2 4 2 号公報

[特許文献 3] 特開平 1 0 - 1 0 7 7 6 1 号公報

20 [非特許文献 1] 安 昌俊、笹瀬 巖、Convolutional Coded Coheretn and Differnetial Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Anntenas system、信学技報、TECHNICAL REPORT OF IEICE、SST2002-47、2 0 0 2 年 1 0 月、7 5 頁～8 0 頁

特許文献 1 には、O F D M 通信システムに係る発明が開示されている。

25 特に、受信 O F D M 信号を高速フーリエ変換によって周波数領域成分に変換し、周波数領域成分をタイミング成分に処理し、タイミング成分からタイミング情報を導き出し、タイミング情報を受信 O F D M 信号に適用して受信機を同

期させるシステムが開示されている。

特許文献 2 には、OFDM 変調方式により送信され、位相成分により情報を伝送するようにした PSK 方式の信号を受信し、これを軟判定復号する OFDM 復調装置に係る発明が開示されている。

- 5 特に、受信信号から帯域外成分を遮断する帯域制限フィルタのフィルタ特性を検出しておき、帯域制限フィルタの出力信号を位相信号に変換した後、フィルタ特性に応じて位相信号を補正してから軟判定復号を行う構成に係る発明が開示されている。

- 10 特許文献 3 には、OFDM 方式による符号化伝送システムと送受信装置に係る発明が開示されている。

- 15 特に、OFDM 受信信号に対して OFDM 復調およびデマッピングを行い、内側デインターリーブ回路により OFDM 復調信号に内側デインターリーブを施し、内側復調回路により内側デインターリーブされた OFDM 復号信号を内符号復号し、外側デインターリーブ回路により内符号復号化信号をに外側デインターリーブを施し、外符号復号回路により外側デインターリーブされた内符号復号信号を外符号復号して出力する構成に係る発明が開示されている。

非特許文献 1 は、本出願に係る発明者の 1 人が参加してなされた過去の研究の論文であり、ユニタリ行列により空間-時間的な変復調を行い、複数のアンテナを用いて、時間差を設けて信号を発する発明が開示されている。

- 20 しかしながら、このような技術以外にも、OFDM 通信に適用可能な種々の通信技術が強く望まれている。

- 25 本発明は、以上のような課題を解決するためになされたもので、LDPC 符号および対角成分以外の成分が 0 であるユニタリ行列による変復調を用いて効率良く通信を行う送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、これらをコンピュータ上にて実現するためのプログラムを提供することを目的とする。

発明の開示

以上の目的を達成するため、本発明の原理にしたがって、以下の発明を開示する。

- 5 本発明の第1の観点に係る送信装置は、符号化部と、直並列変換部と、ユニタリ行列変調部と、スプリット部と、逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力する。

- 10 そして、直並列変換部は、出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$)個の中間信号を出力する。

一方、ユニタリ行列変調部は、出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が0である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力する。

- 15 さらに、スプリット部は、出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換部の入力チャンネルに入力信号として与える。

そして、逆フーリエ変換部は、その入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換部は、出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して1つの送信信号を出力する。

- 20 さらに、送信部は、出力された送信信号を送信する。

逆フーリエ変換部のチャンネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

- 25 本発明のその他の観点に係る受信装置は、受信部と、直並列変換部と、フーリエ変換部と、逆スプリット部と、ユニタリ行列復調部と、並直列変換部と、復号化部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

一方、直並列変換部は、出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換部は、出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

- 5 そして、逆スプリット部は、出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、ユニタリ行列復調部に与える。

一方、ユニタリ行列復調部は、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。

- 10 さらに、並直列変換部は、復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力する。

一方、復号化部は、出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力する。

- 15 そして、フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

本発明の他の観点に係る送信方法は、符号化工程と、直並列変換工程と、ユニタリ行列変調工程と、スプリット工程と、逆フーリエ変換工程と、並直列変換工程と、送信工程と、を備え、以下のように構成する。

- 20 すなわち、符号化工程では、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力する。

直並列変換工程では、出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力する。

- 25 一方、ユニタリ行列変調工程では、出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力する。

さらに、スプリット工程では、出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換の入力チャネルに入力信号として与える。

そして、逆フーリエ変換工程では、逆フーリエ変換の入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換工程では、出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を
5 並直列変換して 1 つの送信信号を出力する。

さらに、送信工程では、出力された送信信号を送信する。

そして、逆フーリエ変換工程における逆フーリエ変換のチャンネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

本発明の他の観点に係る受信方法は、受信工程と、直並列変換工程と、フー
10 リエ変換工程と、逆スプリット工程と、ユニタリ行列復調工程と、並直列変換工程と、復号化工程と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信工程では、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

一方、直並列変換工程では、出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq$
15 2) 個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換工程では、出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

そして、逆スプリット工程では、出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、ユニタリ行列復調工程に与える。

20 一方、ユニタリ行列復調工程では、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。

さらに、並直列変換工程では、復調された複数の復調済み信号を並直列変換して、直列化済み信号として出力する。

25 一方、復号化工程では、出力された直列化済み信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力する。

そして、フーリエ変換工程におけるフーリエ変換のチャンネル同士の周波数の

差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

本発明の他の観点に係る送信装置は、符号化部と、直並列変換部と、複数のユニタリ行列変調部と、スプリット部と、逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備え、以下のように構成する。

- 5 すなわち、符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力する。

そして、直並列変換部は、出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$) 個の中間信号を出力する。

- 10 一方、複数のユニタリ行列変調部のそれぞれは、出力された $m \times n$ 個の中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力する。

さらに、スプリット部は、出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与える。

- 15 そして、逆フーリエ変換部は、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換部は、出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して 1 つの送信信号を出力する。

さらに、送信部は、出力された送信信号を送信する。

- 20 そして、逆フーリエ変換部のチャネル同士のうち、複数のユニタリ行列変調部から出力される行列の対角成分が与えられるチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

- また、本発明の送信装置において、複数のユニタリ行列変調部のうち、 i 番目のものが出力する行列の j 行 j 列の対角成分 (ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$) は、逆フーリエ変換部の $j \times m + i$ 番目の入力チャネルに与えられるように構成する
25 ことができる。

本発明の他の観点に係る受信装置は、受信部と、直並列変換部と、フーリエ変換部と、逆スプリット部と、複数のユニタリ行列復調部と、並直列変換部と、

復号化部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

一方、直並列変換部は、出力された受信信号を直並列変換して $m \times n$ ($m \geq 2, n \geq 1$) 個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換部は、出力された $m \times n$ 個の中間信号をフーリエ変換して得られる $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

そして、逆スプリット部は、出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なくユニタリ行列復調部のそれぞれに与える。

10 一方、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。

さらに、並直列変換部は、復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力する。

15 一方、復号化部は、出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力する。

そして、フーリエ変換部のチャネル同士のうち、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれに与えられるフーリエ変換済み信号を出力するチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

20 また、本発明の受信装置において、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、その
25 ユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果と
するように構成することができる。

また、本発明の受信装置において、複数のユニタリ行列復調部のうち、 i 番

目のものが対比する行列の j 行 j 列の対角成分 (ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$) は、逆フーリエ変換部の $j \times m+i$ 番目の出力チャネルから出力されたものであるように構成することができる。

本発明の他の観点に係るプログラムは、コンピュータを、上記の送信装置の
5 各部として機能させるように構成する。

本発明の他の観点に係るプログラムは、コンピュータを、上記の受信装置の各部として機能させるように構成する。

本発明のプログラムを、他の機器と通信可能なコンピュータに実行させることにより、本発明の送信装置、受信装置、送信方法、ならびに、受信方法を実
10 現することができる。

また、当該コンピュータとは独立して、本発明のプログラムを記録した情報記録媒体を配布、販売することができる。また、本発明のプログラムを、インターネット等のコンピュータ通信網を介して伝送し、配布、販売することができる。

15 特に、当該コンピュータが DSP (Digital Signal Processor) や FPGA (Field Programmable Gate Array) などのプログラム可能な電子回路を有する場合には、本発明の情報記録媒体に記録されたプログラムを当該コンピュータに伝送し、当該コンピュータ内の DSP や FPGA にこれを実行させて、本発明の送信装置や受信装置を実現するソフトウェアラジオ形式の手法を利用することができ
20 る。

図面の簡単な説明

図 1 は、最も単純なユニタリ行列変調を行う送信装置の模式図である。

25 図 2 は、LDPC 符号と OFDM 技術とユニタリ行列変調とを組み合わせた送信装置の概要構成を示す模式図である。

図 3 は、スプリット処理の説明を示す説明図である。

図 4 は、 図 2 に示す送信装置と対になる受信装置の概要構成を示す模式図である。

図 5 は、 他の実施形態に係る送信装置の概要構成を示す模式図である。

図 6 は、 他の実施形態に係る受信装置の概要構成を示す模式図である。

5 図 7 は、 他の実施形態に係るスプリット処理の概要構成を示す模式図である。

図 8 は、 LDPC 符号に対応するグラフの例を表した説明図である。

図 9 は、 受信装置における LDPC 復号化の処理の制御の流れを示すフローチャートである。

10 図 10 は、 実験結果を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下では、本発明を実施するための最良の実施形態について説明するが、当
15 該実施形態は説明のための例示であり、本発明の原理にしたがった他の実施形態もまた、本発明の範囲に含まれる。

まず、本実施形態で用いられるユニタリ行列について述べる。 m 行 m 列の
正方行列 S (i 行 j 列の要素を s_{ij} と書く。) その随伴行列 (共役転置行列) S^* (i
行 j 列の要素は s_{ji}^* である。ただし、 x^* は x の共役複素数である。) について、 E
20 を m 行 m 列の単位行列としたときに、

$$S S^* = S^* S = E$$

が成立する場合、 S を「ユニタリ行列」と呼ぶ。本実施形態では、ユニタリ行列のうち、対角成分以外がすべて 0 であるものを用いる。

たとえば、2 行 2 列のユニタリ行列としては、以下のようなものが考えられ
25 る。

[数 1]

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[数 2]

$$\begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$$

[数 3]

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

[数 4]

$$\begin{pmatrix} -i & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}$$

m 行 m 列の対角成分以外が 0 のユニタリ行列として、どのようなものを選択すべきか、については、[非特許文献 1]に開示されているものと同様の技術
10 を採用することができる。

さて、以下の説明例では、この 4 種類のユニタリ行列を変復調に採用することとする。4 = 2²であるから、2 ビットの情報をこれらのユニタリ行列に 1 対 1 に対応付けることができる。

そこで、これらのそれぞれについて、以下のような 2 ビットの入力を対応付

ける。

[数 5]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[数 6]

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

5

[数 7]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

[数 8]

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

- 10 以下では、これらの例に基づき、2行2列のユニタリ行列変復調について説明する。すなわち、ユニタリ行列変調とは、[数 5] ~ [数 8] で示される2個の信号（各要素の値がそれぞれ1個の信号に相当する）入力があった場合に、これに対応付けられた [数 1] ~ [数 4] で示される行列を変調結果として出力するものであり、ユニタリ行列復調とは、その逆の操作を行うものである。

(基本となるユニタリ行列変調)

図1は、最も単純なユニタリ行列変調を行う送信装置の構成図である。以下、本図を参照して説明する。

送信装置101においては、伝送すべき信号が、単位時間あたり f ビットのレートで、直並列変換部102に入力される。

直並列変換部102は、これを2つの中間信号に直並列変換する。したがって、各中間信号の出力レートは、単位時間あたり $f/2$ ということになる。

つぎに、これらの中間信号が、ユニタリ行列変調部103に与えられる。ユニタリ行列変調部103は、2つの中間信号の入力を受け付けて、2つの変調信号を出力する。すると、ユニタリ行列変調部103は、入力された2つの中間信号を縦ベクトル（[数5]～[数8]）と見たときに、これに対応する行列（[数1]～[数4]）を出力する。

たとえば、2つの中間信号が[数5]で表されるものであり、出力されるべき行列が[数1]で表されるものであるときには、時間順に変調信号の一方には1, 0を、他方には0, 1を、それぞれ出力する。したがって、各変調信号の出力レートは、単位時間あたり f ということになる。

ついで、各重畳部104は、各変調信号を、互いに異なる搬送周波数の搬送波に重畳する。ここで、ユニタリ行列の各要素の値は、一般には複素数であり、重畳結果の位相が変化する。そして、各アンテナ105は、それぞれの信号を出力する。

上記のように、ユニタリ行列変調部105が出力するユニタリ行列は、対角成分以外は0である。したがって、上記の実施例では、アンテナ105のいずれか1つが信号を発している（送信電力が非0である）ときには、他のアンテナ105はいずれも信号を発していない（送信電力が0である）ことになる。このようにして、一つの信号を、時間軸、空間軸のそれぞれに展開して送信を行う。

ここでさらに、アンテナ105が互いに排他的に信号を発していること、す

なわち、ユニタリ行列変調部 103 が出力するユニタリ行列の対角成分がすべて 0 であること、を利用して、時間軸での圧縮を考える。また、図 1 に示す実施形態では、アンテナ 105 の数が、ユニタリ行列の次元数と同じだけ必要となるが、アンテナ 105 の数を 1 つで済むようにすることを考える。このため

5 に適用される技術が OFDM 技術である。

(送信装置の実施形態)

図 2 は、OFDM 技術とユニタリ行列変調とを組み合わせた送信装置の概要構成を示す。

まず、送信装置 101 では、符号化部 201 が伝送すべき信号を LDPC 符号化して、符号化済信号として出力する点が、図 1 に示す実施形態と異なる。

10 LDPC 符号の詳細については後述する。

次に、直並列変換部 102、ユニタリ行列変換部 103 の処理は、図 1 に示す実施形態と同じである。

すなわち、符号化済信号が、直並列変換部 102 に入力されると、直並列変換部 102 は、これを 2 つの中間信号に直並列変換する。

15

つぎに、これらの中間信号が、ユニタリ行列変調部 103 に与えられる。ユニタリ行列変調部 103 は、2 つの中間信号の入力を受け付けて、2 つの変調信号を出力する。すると、ユニタリ行列変調部 103 は、入力された 2 つの中間信号を縦ベクトル ([数 5] ~ [数 8]) と見たときに、これに対応する行列 ([数 1] ~ [数 4]) を出力する。

20

たとえば、2 つの中間信号が [数 6] で表されるものであり、出力されるべき行列が [数 2] で表されるものであるときには、時間順に変調信号の一方には i , 0 を、他方には 0, i を、それぞれ出力する。

そして、ユニタリ行列変調部 103 が出力するこれらの信号の実部と虚部の組み合わせ (行列の次元数と一致) を、スプリット部 111 が、逆フーリエ変換部 112 の実部と虚部の組み合わせ (I チャンネルと Q チャンネル) にそれぞれ入力して、逆フーリエ変換を行う。

25

図3は、スプリット部111の処理の説明を示すものである。スプリット部111は、 i 番目の信号については、行列の i 行 i 列の要素の値を出力する。すなわち、上記の例では、スプリット部111は、[数9]を出力することとなる。

5 [数9]

$$\begin{pmatrix} i \\ i \end{pmatrix}$$

i 行 i 列の要素（対角成分）以外の要素は、すべて0であるので、このような処理を行っても情報が失われることはない。なお、スプリット部では、さらに、各出力の入れ替えを行っても良い。スプリット処理が終わったら、これを
10 逆フーリエ変換部112に与える。

なお、ユニタリ行列変調部103が、ユニタリ行列そのものを出力するのではなく、ユニタリ行列の対角成分だけを出力するような実施態様を採用しても良い。この場合は、スプリット部111で信号の入れ替えを行わない場合は、スプリット部111は不要となり、ユニタリ行列変調部103の出力がそのまま
15 逆フーリエ変換部112に与えられることになる。本例では、[数1]～[数4]の行列にかえて、以下の[数10]から[数13]のベクトルを利用する、ということである。

[数10]

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

20 [数11]

$$\begin{pmatrix} \dot{i} \\ \dot{i} \end{pmatrix}$$

[数 1 2]

$$\begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

[数 1 3]

$$\begin{pmatrix} -\dot{i} \\ -\dot{i} \end{pmatrix}$$

5

逆フーリエ変換部 1 1 2 では、入力された信号群を、通常の OFDM 通信と同様に逆フーリエ変換する。逆フーリエ変換部 1 1 2 において行われる逆フーリエ変換のチャンネル（OFDM 通信のサブキャリア）同士の周波数の差は、所定のコヒーレントバンド幅以上とすることが望ましい。コヒーレントバンド幅は、遅延波によるチャンネル応答が似ているようなチャンネル同士の周波数の差であり、遅延波の遅延時間が長ければ、チャンネルのコヒーレントバンド幅は狭くなり、遅延波の遅延時間が短ければ、チャンネルのコヒーレントバンド幅は広くなる。

ここでたとえば、80MHz のバンド幅で 1 2 8 個のサブキャリアの OFDM システムを考えると、サブキャリアのバンド幅 $\Delta f = 80\text{MHz}/128 = 625\text{kHz}$ ということになる。ここで、RMS（Root Mean Squared）遅延スプレッド $\tau = 714\text{ns}$ と考えると、コヒーレントバンド幅 $B_c = 1/(50 \tau) = 28\text{kHz} \approx 0.048 \Delta f$ であ

10
15

る。この式中の定数 50 はコヒーレントバンド幅の計算係数であり、いわゆる安全係数に類似する定数である。

したがって、このような場合には、隣合うチャンネル（サブキャリア）同士の周波数の差は、コヒーレントバンド幅より十分に大きいことになる。このように、伝播伝搬路の状況や利用される周波数帯などの状況によって RMS 遅延スプレッドの大きさが得られれば、それからコヒーレントバンド幅を求めることができる。

逆フーリエ変換が終了したら、出力された信号を並直列変換部 113 が並直列変換して 1 つの信号とし、送信部 114 がこれを 1 つのアンテナ 105 から送信する。この段階は、通常の OFDM 送信と同様である。

（受信装置の実施形態）

図 4 は、図 2 に示す送信装置 101 と対になる受信装置の概要構成を示す模式図である。以下、本図を参照して説明する。

受信装置 401 の受信部 403 は、送信装置 101 から送信された信号をアンテナ 402 を介して受信する。次に、直並列変換部 404 は、この受信信号を直並列変換して、2 個の中間信号を出力する。この「2」という値は、送信装置 101 で用いるユニタリ行列変調が 2 行 2 列のユニタリ行列を用いることに基づくものであり、 m 行 m 列のユニタリ行列を使う場合は、 m 個の中間信号を出力することとなる。

そして、フーリエ変換部 405 は、通常の OFDM 通信同様、中間信号をフーリエ変換して、2 個のフーリエ変換済み信号を出力する。このフーリエ変換部 405 は、送信装置 101 の逆フーリエ変換部 111 と対になるものであり、各チャンネル（サブキャリア）の周波数の差（各チャンネル（サブキャリア）のバンド幅）は、上記のように、コヒーレントバンド幅以上となっている。

さて、電波伝搬路における種々の影響がなければ、ここで出力される信号は、[数 10] ~ [数 13] のいずれか（に比例するもの）となるはずであるが、現実には、電波伝搬路の影響により、これらの信号とはずれが生じている。

そこで、逆スプリット部 406 では、フーリエ変換済み信号が、[数 10] ~ [数 13] のいずれに最も近いのか、を判定して、最も近いと判定されたベクトルを求める。「近さ」はベクトル同士のユークリッド距離によって定めるのが典型的であるが、ベクトルの各成分の差の絶対値の総和など、種々の「距離」

5 の計算手法を採用することができる。

そして、図 3 に示すスプリットとは逆の変換「逆スプリット」により、求められたベクトルの各成分を対角成分とするユニタリ行列を得る。

ユニタリ行列復調部 407 は、逆スプリット部が出力したユニタリ行列（上記例の [数 5] ~ [数 8]）にあらかじめ対応付けられたベクトル（上記例の
10 [数 1] ~ [数 4]）を出力する。

さらに、並直列変換部 408 は、ユニタリ行列復調部 407 が出力したベクトルを並直列変換して、出力する。

最後に、復号化部 202 は、並直列変換された信号を LDPC 復号化して、これを伝送された信号として出力する。LDPC 符号の詳細については、後述
15 する。

なお、逆フーリエ変換部 112 やフーリエ変換部 405 としては、既存の高速フーリエ変換用の電子素子回路などを利用することができるが、この場合には、各チャンネル（サブキャリア）のバンド幅は固定となっていることが多い。そこで、上記のように求めたコヒーレントバンド幅よりも、上記のバンド幅が
20 狭い場合には、チャンネルを何個おきかにスキップして利用することによって、各チャンネルの周波数帯の周波数差を広げることができる。

（その他の実施形態）

上記の実施形態では、ユニタリ行列変調部やユニタリ行列復調部やを 1 つだけ採用して変復調を行っていたが、本実施形態では、 m 行 m 列のユニタリ行列変調部、ユニタリ行列復調部をそれぞれ n 個使い、OFDM においては m
25 $\times n$ 個のチャンネルを利用する。典型的には、上記の実施例においてあげたように、 $m = 2$ とする。

図5は、本実施形態に係る送信装置の概要構成を、図6は、本実施形態に係る受信装置の概要構成を、それぞれ示す説明図であり、上記実施形態と同様の要素には、同じ符号を付してある。

送信装置101において、符号化部201は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これをLDPC符号化する。LDPC符号化の詳細については、後述する。

直並列変換部102は、LDPC符号化された信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2, n \geq 1$)個の中間信号を出力する。この中間信号を、順に、 $a_0, a_1, \dots, a_{m \times n - 1}$ とする。

10 一方、複数のユニタリ行列変調部103のそれぞれは、出力された $m \times n$ 個の中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が0である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力する。

ユニタリ行列変調部103のそれぞれに番号0～ $n-1$ を割り当てるとすると、典型的には、 i 番目のユニタリ行列変調部103には、中間信号 $a_{i \times m}, a_{i \times m + 1}, \dots, a_{i \times m + m - 1}$ が与えられることになる。

以降では、理解を容易にするため、当該 i 番目のユニタリ行列変調部103が出力する行列の j 行 j 列の対角成分を、 n_j と書くこととする。

さらに、スプリット部104は、出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換部105の入力チャネルに入力信号として与える。この際に、
20 同じユニタリ行列変調部103から出力される対角成分 $n_0, n_1, \dots, n_{m-1}, \dots$ は、できるだけその周波数が離れた入力チャネルに与えることが望ましい。また、この際に、当該周波数の差は、コヒーレントバンド幅以上であるようにする。

この条件は、上記実施形態よりも、緩い条件である。すなわち、上記実施形態では、入力チャネル同士のすべての組み合わせについて、その周波数の差が
25 コヒーレントバンド幅以上であることが求められるが、本実施形態では、同じユニタリ行列変調部103から出力される対角成分が与えられる入力チャネルに

ついて、その周波数の差がコヒーレントバンド幅以上であれば十分である。

このように設定できるのは、同じユニタリ行列変調部 103 から出力される信号（対角成分）については、チャネル応答が類似していることによるものである。

- 5 もちろん、本実施形態においても、すべての入力チャネルの周波数差は大きいことが遅延波対策としては望ましいが、性能とのトレードオフの関係にあるので、これらの数値は、適用分野に応じて適宜設定することができる。

そこで、逆フーリエ変換部 105 の入力チャネルを、その周波数の順に、 $c_0, c_1, \dots, c_{m \times n-1}$ と名付けることとする。同じユニタリ行列変調部 103 から出力される対角成分 $r_{0,0}, r_{0,1}, \dots, r_{m-1,0}, \dots$ をできるだけ遠い周波数の入力チャネルに与えるには、対角成分 r_{ij} は、入力チャネル $c_{j \times m+i}$ に与えることとすれば良い。このような信号の与え方を、図 7 (a) に示す。

このほか、所定の 1 以上の定数 k に対して、対角成分 r_{ij} を $c_{j \times (m+k)+i}$ に与えることとしても良い。この様子を図 7 (b) に示す。この場合、逆フーリエ変換部 105 の入力チャネルのうち、一部 ($c_{j \times (m+k)+i+1} \sim c_{j \times (m+k)+i+k-1}$ に相当するチャネル) には、ユニタリ行列変調部 105 の出力は与えないこととなるので、典型的には値 0 を与えることとなる。ただし、これらの一部の入力チャネルには、既知信号を与えることとして、当該チャネルをパイロット信号の伝送用に利用することとしても良い。この場合は、受信装置 401 においても当該パイロット信号により同期をとり、各種の信号補償を行うなどの処理を加えることができる。

そして、逆フーリエ変換部 105 は、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる複数の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換部 106 は、出力された複数の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して 1 つの送信信号を出力する。

さらに、送信部 107 は、出力された送信信号を送信する。

一方、当該送信装置 101 に対応する受信装置 401 は、受信部 403 と、

直並列変換部 404 と、フーリエ変換部 405 と、逆スプリット部 406 と、複数のユニタリ行列復調部 407 と、並直列変換部 408 と、復号化部 202 と、を備え、以下のように構成する。

- 受信部 403 は、送信された送信信号をアンテナ 402 を介して受信して、
5 これを受信信号として出力する。

一方、直並列変換部 404 は、出力された受信信号を直並列変換して $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$) 個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換部 405 は、出力された $m \times n$ 個の中間信号をフーリエ変換して得られる $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

- 10 そして、逆スプリット部 406 は、出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なくユニタリ行列復調部 407 のそれぞれに与える。この対応関係は、送信装置 101 におけるものと逆の関係となる。図 7 に示す例でいえば、信号が与えられる向きを表す矢印を逆向きにすれば、逆スプリットの処理になる。

- 15 一方、複数のユニタリ行列復調部 407 のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。すなわち、上記実施形態と同様に、「所定のユニタリ行列」と、「フーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり、対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列」と、のユークリッド距離が最小のもの、すなわち、「所定のユニタリ行列の対角成分からなるベクトル」と、「フーリエ変換済み信号のそれぞれを成分とするベクトル」と、のユークリッド距離が最小のものを選択し、
20 これに対応付けられた信号を復調済信号として出力する。

- たとえば、以下の [数 1 4] が「フーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり、対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列」である場合、[数 1] ~
25 [数 4] のうち、これにユークリッド距離が最も近いものは、[数 1] に表されるユニタリ行列であるから、復調済信号は、[数 5] となる。

[数 1 4]

$$\begin{pmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0.9 \end{pmatrix}$$

なお、ユークリッド距離を求める前に、「フーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり、対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列」について、適当な正規化を行っても良い。たとえば、各対角成分を「対角成分の 2 乗平均」で除算する、などの手法が考えられる。この場合、[数 1 4] に対応する正規化後の行列を計算すると、対角成分の 2 乗平均は 0.85147 であるから、[数 1 5] のようになる。

[数 1 5]

$$\begin{pmatrix} 0.93955 & 0 \\ 0 & 1.05700 \end{pmatrix}$$

さらに、並直列変換部 4 0 7 は、復調された複数の復調済信号を並直列変換し、復号化部 2 0 2 は、これを LDPC 復号化して、伝送された信号として出力する。

なお、送信装置 1 0 1、受信装置 4 0 1 における対角成分以外が 0 のユニタリ行列の選択、および、信号とユニタリ行列との対応付けは、「ユニタリ行列変調部 1 0 3 と対応するユニタリ行列復調部 4 0 7 の対」のそれぞれについて、同じものを選択しても良いし、異なるものを選択しても良い。特に、隣り合う「ユニタリ行列変調部 1 0 3 と対応するユニタリ行列復調部 4 0 7」について、異なるユニタリ行列の選択や対応付けを採用することとしても良い。

さて、かりに LDPC 符号化／復号化を用いない場合は、上記のように、同じユニタリ行列変調部から出力される対角成分が与えられる入力チャネルにつ

いて、その周波数の差がコヒーレントバンド幅以上であることが求められるが、LDPC符号を用いた場合は、これよりも狭いバンド幅にすることもできる。以下では、LDPC符号の処理について、詳細に説明する。

(LDPC符号)

- 5 LDPC符号は、その性能がシャノンの限界に大変近いことが知られている符号である。

LDPC符号は、疎な二進グラフ (sparse bipartite graph) から得られる線形符号である。図8は、このようなグラフの例を示す説明図である。

- 10 本図に示すように、グラフの左側にはノードが n 個あり (これらを「メッセージノード」という。)、右側にはノードが r 個ある (これらを「チェックノード」という。)

以下の手順により、このグラフから、ブロック長が n 、次元が少なくとも $n-r$ の線形符号を得ることができる。

- 15 すなわち、 n 個の要素からなる符号語 (c_1, c_2, \dots, c_n) を考えた場合、このそれぞれを、メッセージノードに割り当てる。なお、 c_1, c_2, \dots, c_n は、いずれも0または1の値をとる。

- 次に、メッセージノードとチェックノードとを連結するのであるが、あるチェックノードに連結されているメッセージノードに割り当てられた符号語の総和 ($0+0=1+1=0$, $0+1=1+0=1$ という加算を用いる。) が、0となるようにする。
20 このような連結のやり方は何通りもあるが、後述するように、連結のやり方を選ぶ。

- さて、このようにしてできたグラフは、連結行列 (adjacency matrix) によって表現することができる。すなわち、行列 H は n 行 r 列の二進行列 (各要素の値が0または1である行列。) であり、その j 行目 i 列目の要素は、 i 番目のチェックノードと j 番目のメッセージノードとがグラフで連結されている場合に
25 1となり、それ以外の場合は0となる。したがって、この行列 H は、[数16] のように表現することができる。

[数 1 6]

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

符号語 $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ は、 X_1, X_2, \dots, X_{10} に対応付けられるので、行列の積および転置を考えれば、

$$H c^T = 0$$

が成立することとなる。

この行列 H を、符号語 c に対するパリティチェック行列いう。

LDP C 符号とは、このようにして符号語から作られたパリティチェック行列のうち疎なもの（値が 0 である要素の数の割合が多いもの）をいう。したが
10 って、符号語 $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ から行列 H （の要素を 1 列に並べたもの）を求めることが、LDP C 符号化である、ということとなる。

次に、このようにして得られた行列 H から、もとの符号語 c を得る処理が
LDP C 復号化である。以下では、復号の処理の詳細について説明する。図 9
は、LDP C 復号化の処理の制御の流れを示すフローチャートである。以下、
15 本図を参照して説明する。

n 行 r 列のパリティチェック行列 H において、各列に 1 が出現する数を t であるとする。このようなパリティチェック行列を「 (r, n, t) LDP C 符号」と呼ぶ。

$t > 2$ である場合、LDP C 符号の最小距離がブロック長 n に比例して大き

くなるような (r,n,t) LDPC 符号が少なくとも 1 つ存在する。

したがって、復号処理に要する時間や復号処理が複雑になってしまうことを実用化の際に考慮すると、符号長を長くするのには限界があるが、符号長を長くすればより高い符号ゲインを得ることができる。

- 5 最小距離が大きくなっていく割合は、非 0 である要素の数によって決まるが、すなわち、 t を n で割った値によって決まることになる。

以下では、和積アルゴリズムを用いて LDPC 符号を復号する処理の詳細について説明する。

まず、 $1 \leq i \leq n$ に対して以下のように定義される λ_i を考える。

10
$$\lambda_i = \ln(\omega(y_{i|0}) \omega(y_{i|1}))$$

LDPC 符号の i 行目において、0 が出現する割合が $\omega(y_{i|0})$ であり、1 が出現する割合が $\omega(y_{i|1})$ である。その自然対数をとっているから、 λ_i はエントロピーに関係する値である。

- この λ_i を「ローカル LLR」と呼ぶ。「ローカル」と言われる理由は、 λ_i が i 番目に受信したシンボルによって定義されるからである。すなわち、行列 H は、各行を伝送されるシンボルとして考え、当該シンボルを 1 行目から順に n 行目まで直列に並べることによって、符号化されているのである。

- 以下の処理はコンピュータを用いて行うので、パリティチェック行列 H のほか、一時的に用いる行列 α , β と、復号結果を格納する z を RAM などのメモリに記憶することとなる。そこで、理解を容易にするため、これらの要素の j 列 i 行 ($1 \leq j \leq r$, $1 \leq i \leq n$) の要素を、たとえば $H[j,i]$ のように表記するものとする。

また、以下のような集合を考える。

$$A(j) = \{i | H[j,i] = 1\}$$

25
$$B(i) = \{j | H[j,i] = 1\}$$

以下、処理の詳細について述べる。処理が開始されると、まず、 $H[j,i]=1$ を満たすすべての j,i の組み合わせについて、 $\beta[j,i]$ に 0 を格納する。 β のそれ

以外の要素には、1 や -1 等の適当な初期値を格納する (ステップ S 9 0 1)。

次に、以下のステップ S 9 0 3 ~ ステップ S 9 0 6 の処理を、L 回繰り返す (ステップ S 9 0 2)。

すなわち、 $H[j,i]=1$ を満たすすべての j,i の組み合わせについて、[数 1 7]
5 を計算し、その値を $\alpha[j,i]$ に格納する (ステップ S 9 0 3)。

[数 1 7]

$$\prod_{i' \in A(j) \setminus i} \text{sign}(\lambda_{i'} + \beta[j, i']) \\ \times f \left(\sum_{i' \in A(j) \setminus i} f(|\lambda_{i'} + \beta[j, i']|) \right)$$

ここで、逆スラッシュは、「逆スラッシュの左辺の集合から右辺の要素を除去した集合」を意味する。したがって、[数 1 7] の場合は、 $i' \neq i$ ということとなる。
10

ただし、 $\text{sign}(x)$ は x が 0 以上であれば 1、そうでなければ 0 となる関数であり、 $f(x)$ は、数 1 8 のように定義される。

[数 1 8]

$$f(x) = \ln \frac{e^x + 1}{e^x - 1}$$

15 さらに、 $H[j,i]=1$ を満たすすべての j,i の組み合わせについて、[数 1 9] を計算し、その値を $\beta[j,i]$ に格納する (ステップ S 9 0 4)。

[数 1 9]

$$\sum_{j' \in B(i) \setminus j} \alpha[j', i]$$

さらに、 $1 \leq i \leq n$ のそれぞれの i について、[数 2 0] を計算し、計算結果の値が 0 以上であれば (sign をとれば 1 になるのであれば)、 $z[i]$ に 0 を格納し、そうでなければ $z[i]$ に 1 を格納する (ステップ S 9 0 5)。

5 [数 2 0]

$$\lambda_i + \sum_{j' \in B(i)} \alpha[j', i]$$

さらに、 z のパリティをチェックする (ステップ S 9 0 6)。すなわち、行列 H に、ベクトル z を転置したもの $H z^T$ を計算し、その結果が 0 ベクトルになるか否かを調べる。

10 z のパリティが合っている場合 (ステップ S 9 0 6 ; Y e s)、得られた z を、復号の結果として出力し (ステップ S 9 0 7)、本処理を終了する。

一方、パリティが合っていない場合は、ステップ S 9 0 2 に戻る (ステップ S 9 0 6 ; N o)。

15 L 回の繰り返しが終わったら (ステップ S 9 0 2 ; Y e s)、そのときに得られている z を、復号の結果として出力し (ステップ S 9 0 8)、本処理を終了する。

(実験結果)

図 1 0 は、以下の諸元において本システムの性能を計算機シミュレーションによって調べた結果を表すグラフである。本グラフにおいて、横軸は E_b/N_0 、
20 縦軸は B E R (Bit Error Rate) であり、受信側でのステップ S 9 0 2 ~ ステップ S 9 0 6 の繰り返し回数 L が 1、2、5、10、50 回の場合と、LDPC 符号化を行わなかった場合 (U) の結果が示されている。

本計算機シミュレーションでは、(128,64,7) LDPC符号を使用し、サブキャリア数を128とし、対角成分をコヒーレントバンド幅以上にスプリットして、ドップラ周波数10Hz環境下における性能を求めた。

- 本グラフを見れば明らかな通り、繰り返し回数 L が1～2回の場合には、
- 5 LDPC符号化をしないよりも性能が低下する区間があるが、5回以上の繰り返しを行うと、ほとんどすべての区間でLDPC符号化をしないよりも性能が向上する。また、繰り返し回数 L を増やせばそれだけBERは低下し、性能は向上するが、回数を増やした場合の性能向上の度合は、しだいに鈍くなっていくこともわかる。

- 10 これらの送信装置、受信装置は、ソフトウェアラジオなどの技術を用いれば、各種のコンピュータ、FPGA (Field Programmable Gate Array)、DSP (Digital Signal Processor) にソフトウェアを与えることによって実現することができる。

産業上の利用性

15

本発明により、対角成分以外の成分が0であるユニタリ行列による変復調を用いて効率良く通信を行う送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、これらをコンピュータ上にて実現するためのプログラムを提供することができる。

請求の範囲

1. 符号化部と、直並列変換部と、ユニタリ行列変調部と、スプリット部と、
5 逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備える送信装置であって、
前記符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティ
チェック符号化した符号化済信号を出力し、
前記直並列変換部は、前記出力された符号化済信号を直並列変換して、 m (m
 ≥ 2)個の中間信号を出力し、
10 前記ユニタリ行列変調部は、前記出力された m 個の中間信号を、対角成分
以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、
前記スプリット部は、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆
フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与え、
前記逆フーリエ変換部は、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フー
15 リエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、
前記並直列変換部は、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並
直列変換して 1 つの送信信号を出力し、
前記送信部は、前記出力された送信信号を送信し、
前記逆フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒ
20 ーレントバンド幅以上である
ことを特徴とするもの。

2. 受信部と、直並列変換部と、フーリエ変換部と、逆スプリット部と、ユ
ニタリ行列復調部と、並直列変換部と、復号化部と、を備える受信装置であっ
25 て、
前記受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力
し、

前記直並列変換部は、前記出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換部は、前記出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

- 5 前記逆スプリット部は、前記出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、前記ユニタリ行列復調部に与え、

前記ユニタリ行列復調部は、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調し

- 10 て、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換部は、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力し、

前記復号化部は、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

- 15 前記フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ことを特徴とするもの。

3. 符号化工程と、直並列変換工程と、ユニタリ行列変調工程と、スプリット工程と、逆フーリエ変換工程と、並直列変換工程と、送信工程と、を備える送信方法であって、

前記符号化工程では、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力し、

- 25 前記直並列変換工程では、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し、

前記ユニタリ行列変調工程では、前記出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出

力し、

前記スプリット工程では、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換の入力チャネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換工程では、逆フーリエ変換の入力チャネルに与えられた
5 入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

前記並直列変換工程では、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して1つの送信信号を出力し、

前記送信工程では、前記出力された送信信号を送信し、

10 前記逆フーリエ変換工程における逆フーリエ変換のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上であることを特徴とするもの。

4. 受信工程と、直並列変換工程と、フーリエ変換工程と、逆スプリット工
15 程と、ユニタリ行列復調工程と、並直列変換工程と、復号化工程と、を備える受信方法であって、

前記受信工程では、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力し、

前記直並列変換工程では、前記出力された受信信号を直並列変換して m (m
20 ≥ 2)個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換工程では、前記出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

前記逆スプリット工程では、前記出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、前記ユニタリ行列復調工程に与え、

25 前記ユニタリ行列復調工程では、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が0である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が0である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復

調して、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換工程では、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力し、

前記復号化工程では、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記前記フーリエ変換工程におけるフーリエ変換のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上であることを特徴とするもの。

10 5. コンピュータを、符号化部、直並列変換部、ユニタリ行列変調部、スプリット部、逆フーリエ変換部、並直列変換部、および、送信部として機能させるプログラムであって、

前記プログラムは、前記コンピュータにおいて、

前記符号化部が、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティ
15 イチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部が、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し、

前記ユニタリ行列変調部が、前記出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

20 前記スプリット部が、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換部が、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

前記並直列変換部が、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並
25 直列変換して 1 つの送信信号を出力し、

前記送信部が、前記出力された送信信号を送信し、

前記逆フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差が、いずれも所定のコヒ

ーレントバンド幅以上である

ように機能させることを特徴とするプログラム。

6. コンピュータを、受信部、直並列変換部、フーリエ変換部、逆スプリット部、ユニタリ行列復調部、並直列変換部、および、復号化部として機能させるプログラムであって、

前記プログラムは、前記コンピュータを、

前記受信部が、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力し、

10 前記直並列変換部が、前記出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換部が、前記出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

前記逆スプリット部が、前記出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、

15 前記ユニタリ行列復調部に与え、

前記ユニタリ行列復調部が、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調して、これを復調済信号として出力し、

20 前記並直列変換部が、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力し、

前記復号化部が、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差が、いずれも所定のコヒー

25 レントバンド幅以上である

ように機能させることを特徴とするプログラム。

7. 符号化部と、直並列変換部と、複数のユニタリ行列変調部と、スプリット部と、逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備える送信装置であって、

前記符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティ

5 イチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部は、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$)個の中間信号を出力し、

前記複数のユニタリ行列変調部のそれぞれは、前記出力された $m \times n$ 個の中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が0である m 行 m

10 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

前記スプリット部は、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャンネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換部は、その入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

15 前記並直列変換部は、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して1つの送信信号を出力し、

前記送信部は、前記出力された送信信号を送信し、

前記逆フーリエ変換部のチャンネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列変調部から出力される行列の対角成分が与えられるチャンネル同士の周波数の差は、

20 いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ことを特徴とするもの。

8. 請求項7に記載の送信装置であって、

前記複数のユニタリ行列変調部のうち、 i 番目のものが出力する行列の j 行 j

25 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m+i$ 番目の入力チャンネルに与えられる

ことを特徴とするもの。

9. 受信部と、直並列変換部と、フーリエ変換部と、逆スプリット部と、複数のユニタリ行列復調部と、並直列変換部と、復号化部と、を備える受信装置であって、

5 前記受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力し、

前記直並列変換部は、前記出力された受信信号を直並列変換して $m \times n$ ($m \geq 2, n \geq 1$) 個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換部は、前記出力された $m \times n$ 個の中間信号をフーリエ変換して得られる $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

10 前記逆スプリット部は、前記出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なく前記ユニタリ行列復調部のそれぞれに与え、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調して、これを復調済信号として出力し、

15 前記並直列変換部は、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを伝送された信号として出力し、

前記復号化部は、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記フーリエ変換部のチャネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれに与えられるフーリエ変換済み信号を出力するチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ことを特徴とするもの。

25

10. 請求項 9 に記載の受信装置であって、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、

対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、そのユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果とする

ことを特徴とするもの。

1 1. 請求項 1 0 に記載の受信装置であって、

10 前記複数のユニタリ行列復調部のうち、 i 番目のものが対比する行列の j 行 j 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m+i$ 番目の出力チャネルから出力されたものである

ことを特徴とするもの。

15 1 2. コンピュータを、符号化部、直並列変換部、複数のユニタリ行列変調部、スプリット部、逆フーリエ変換部、並直列変換部、および、送信部として機能するプログラムであって、

前記プログラムは、前記コンピュータにおいて、

前記符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$) 個の中間信号を出力し、

前記複数のユニタリ行列変調部のそれぞれは、前記出力された $m \times n$ 個の中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

前記スプリット部は、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換部は、その入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

前記並直列変換部は、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して1つの送信信号を出力し、

5 前記送信部は、前記出力された送信信号を送信し、

前記逆フーリエ変換部のチャンネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列変調部から出力される行列の対角成分が与えられるチャンネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ように機能させることを特徴とするプログラム。

10

1 3. 請求項 1 2に記載のプログラムであって、

当該コンピュータを、

前記複数のユニタリ行列変調部のうち、 i 番目のものが出力する行列の j 行 j 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m+i$

15 番目の入力チャンネルに与えられる

ように機能させることを特徴とするもの。

1 4. コンピュータを、受信部、直並列変換部、フーリエ変換部、逆スプリット部、複数のユニタリ行列復調部、並直列変換部、および、復号化部として

20 機能させるプログラムであって、

当該プログラムは、当該コンピュータを、

前記受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力し、

25 前記直並列変換部は、前記出力された受信信号を直並列変換して $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$)個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換部は、前記出力された $m \times n$ 個の中間信号をフーリエ変換して得られる $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

前記逆スプリット部は、前記出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なく前記ユニタリ行列復調部のそれぞれに与え、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調して、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換部は、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを伝送された信号として出力し、

前記復号化部は、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記フーリエ変換部のチャネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれに与えられるフーリエ変換済み信号を出力するチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ように機能させることを特徴とするプログラム。

15

15. 請求項 14 に記載のプログラムであって、

当該コンピュータにおいて、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、

対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、そのユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果とする

25 ように機能させることを特徴とするプログラム。

16. 請求項 15 に記載のプログラムであって、

当該コンピュータにおいて、

前記複数のユニタリ行列復調部のうち、 i 番目のものが対比する行列の j 行 j 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m + i$ 番目の出力チャネルから出力されたものである

- 5 ように機能させることを特徴とするプログラム。

1 / 10

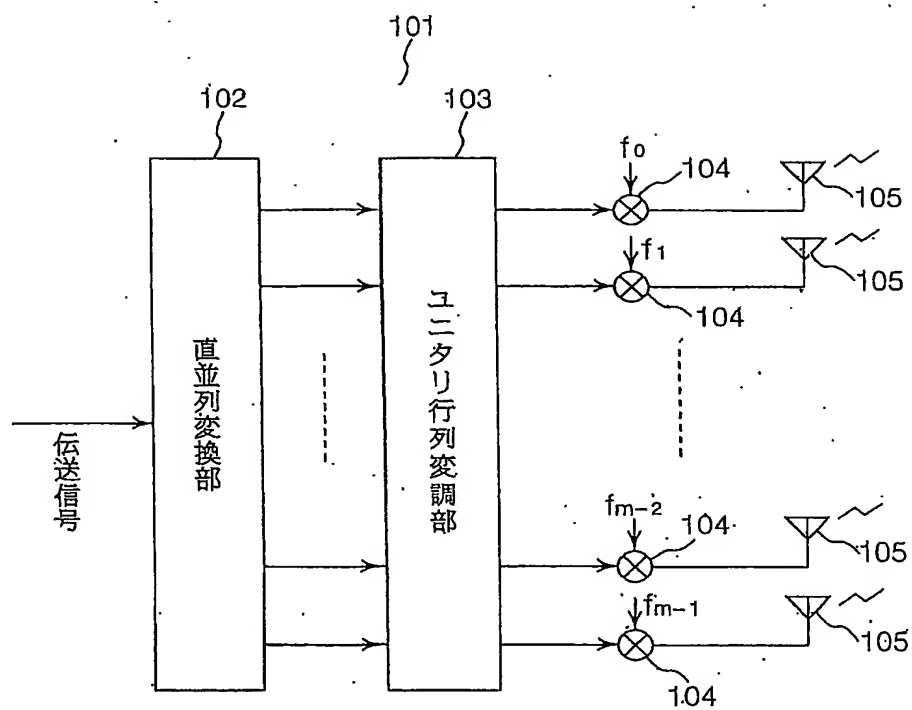


図1

2/10

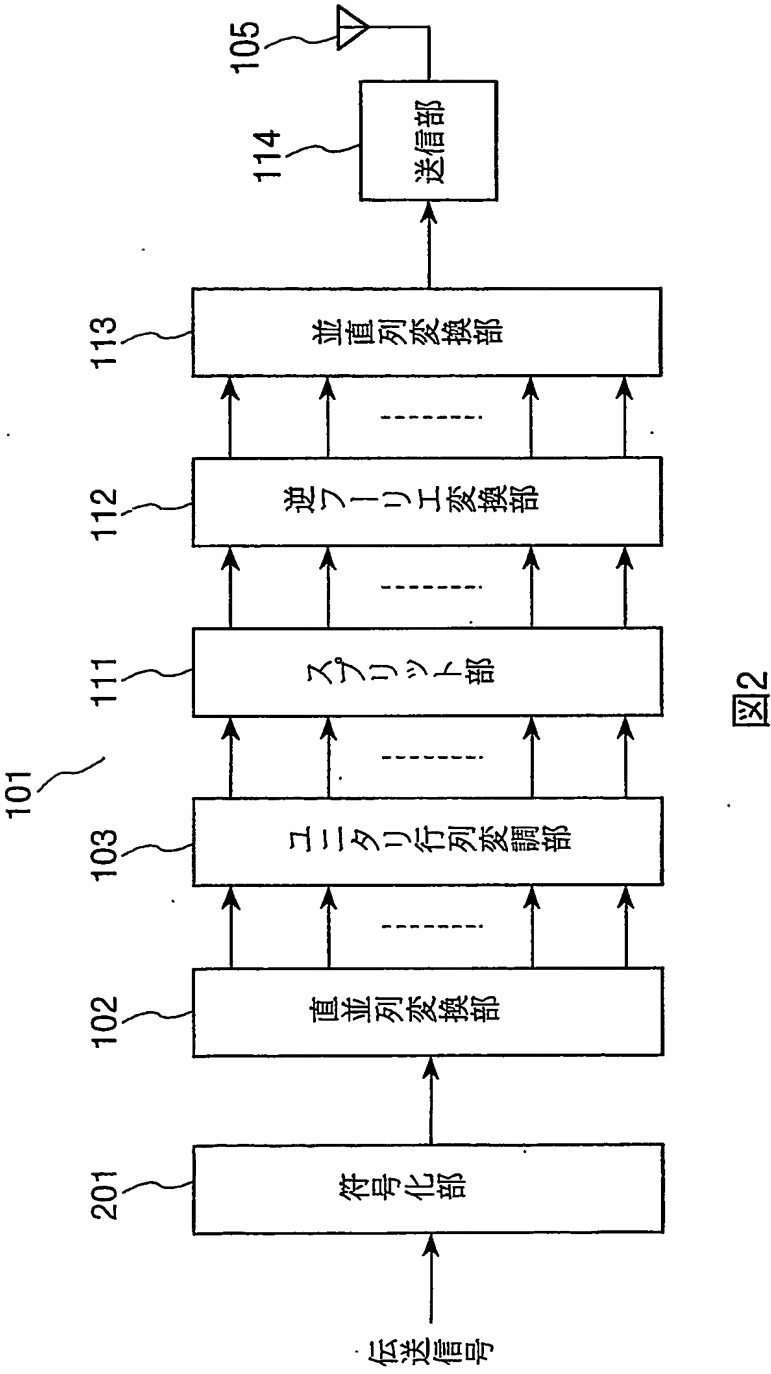


図2

3 / 10

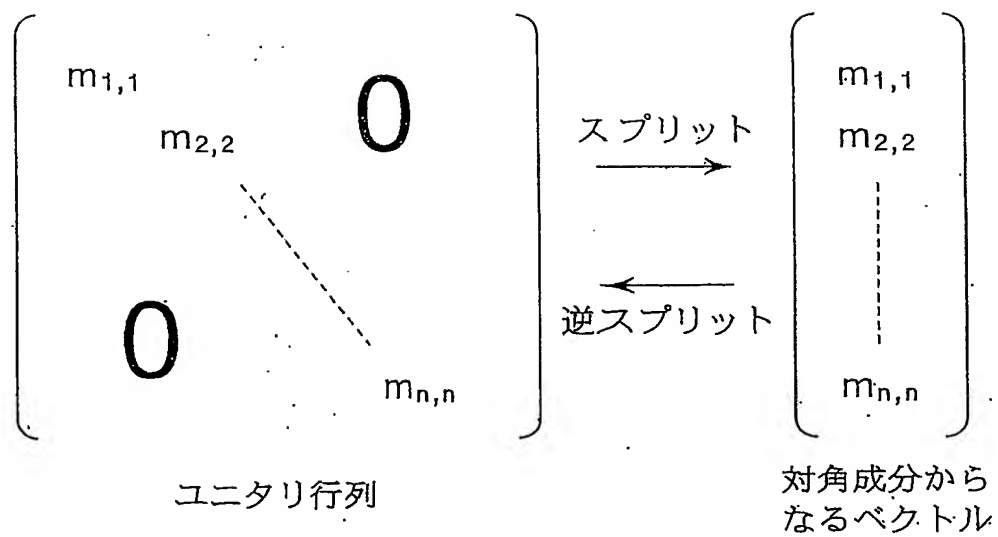


図3

4/10

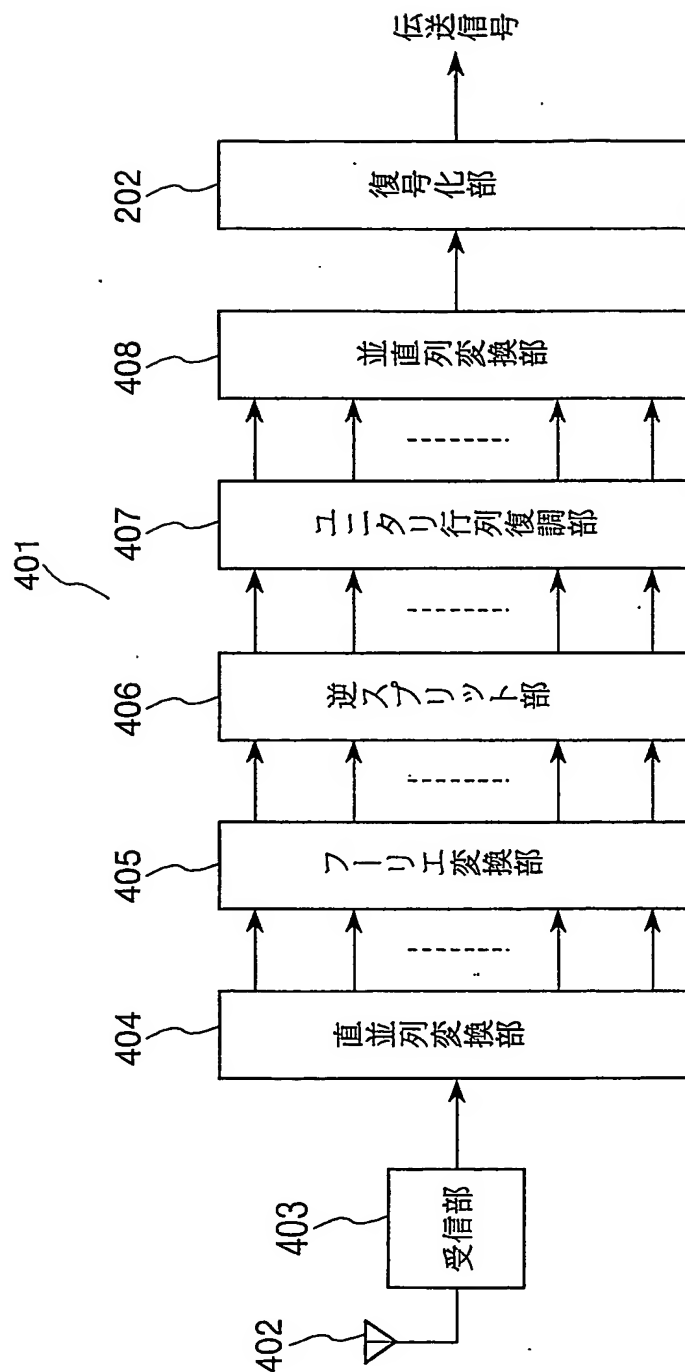


図4

5/10

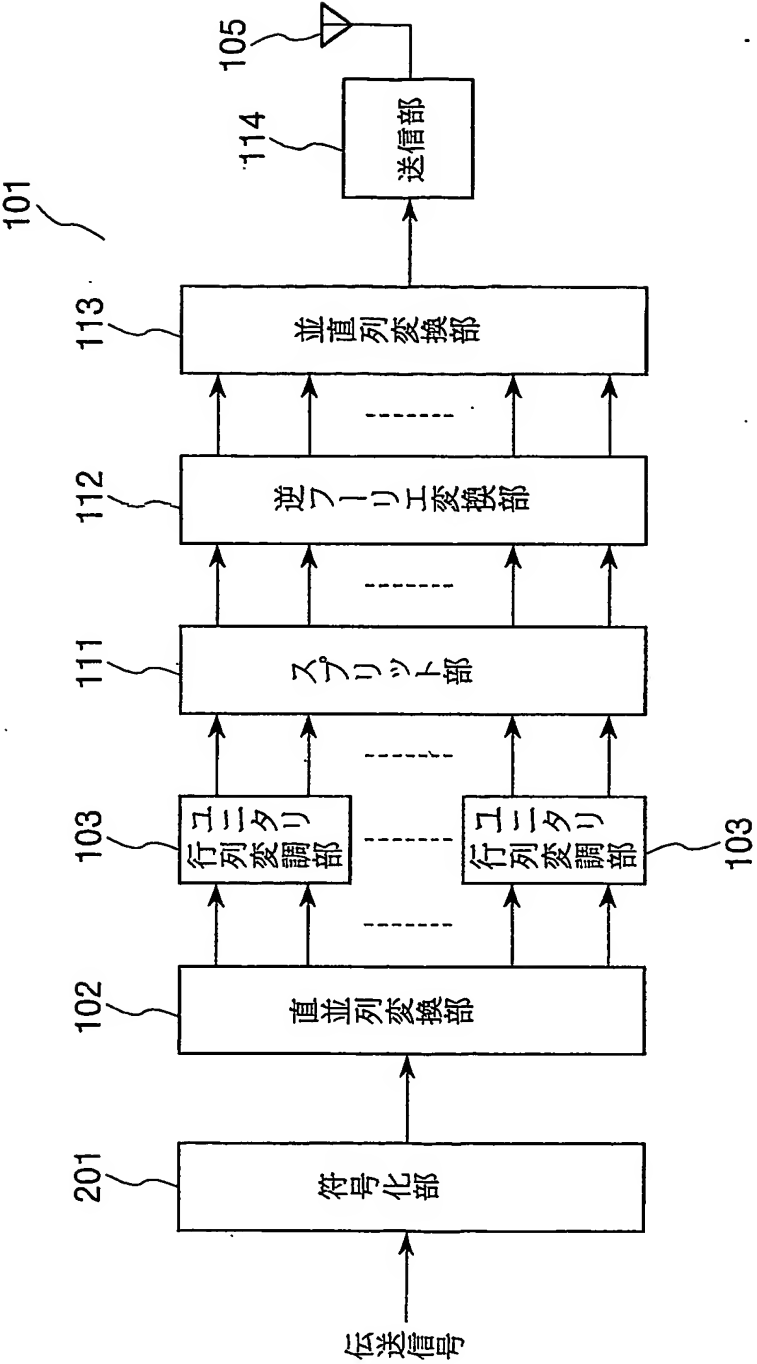


図5

6/10

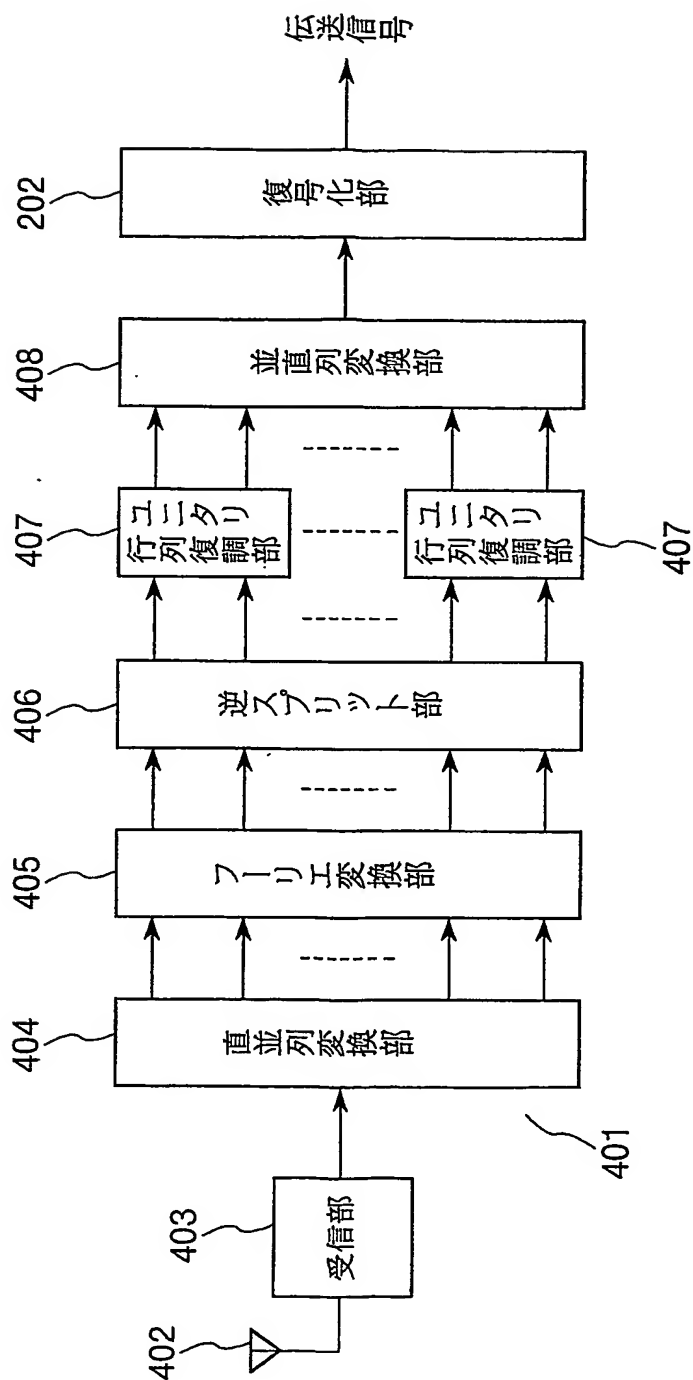
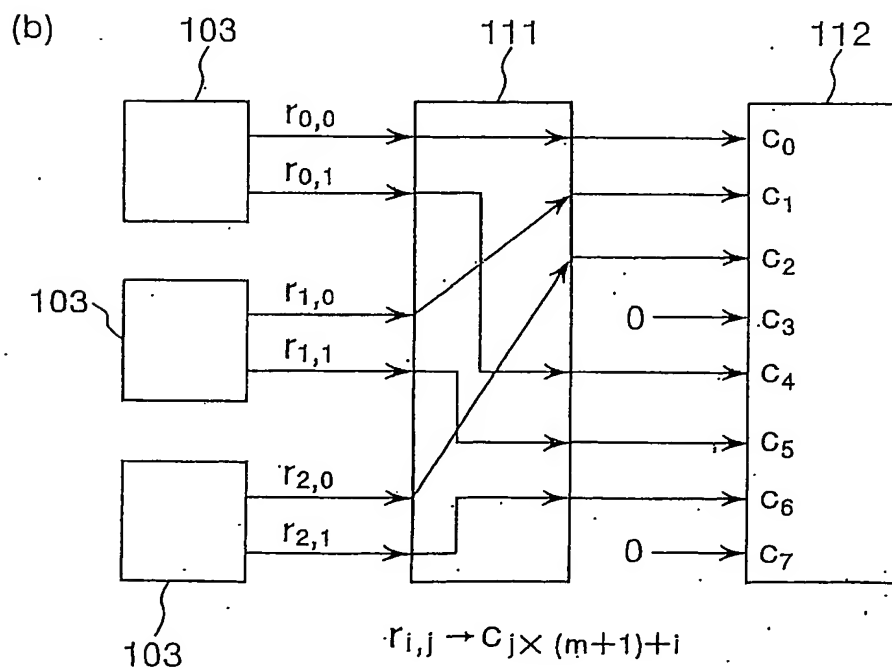
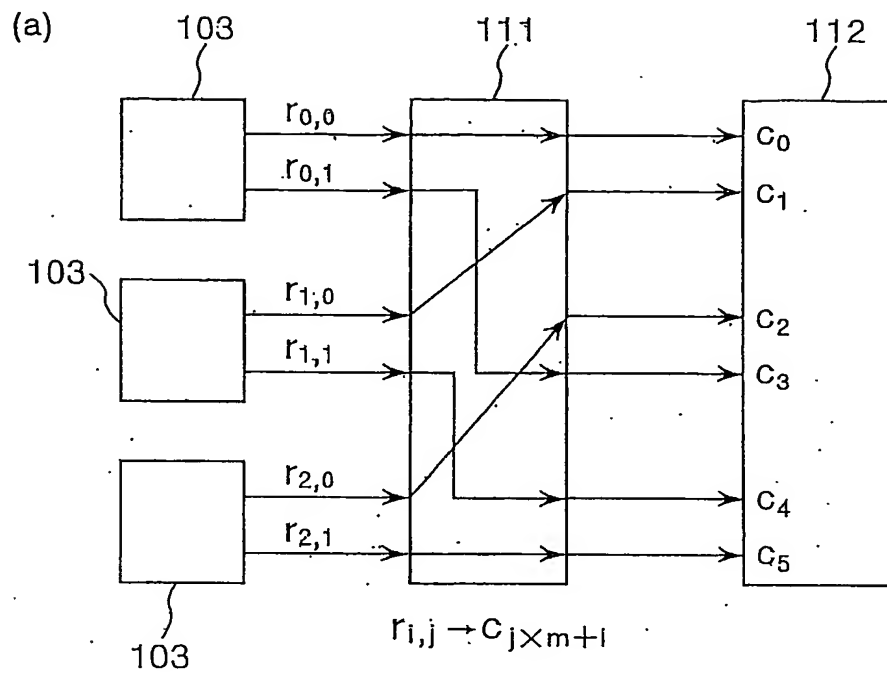


図6

7 / 10



8 / 1 0

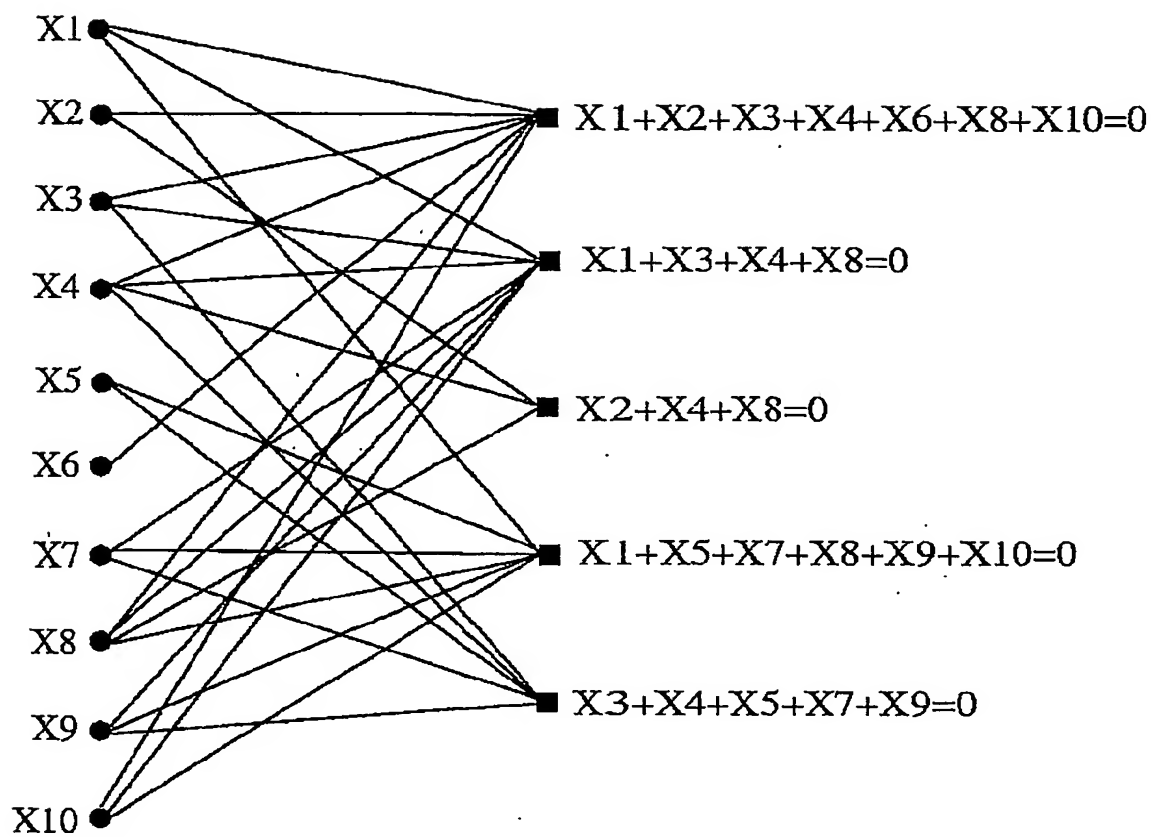


図 8

9/10

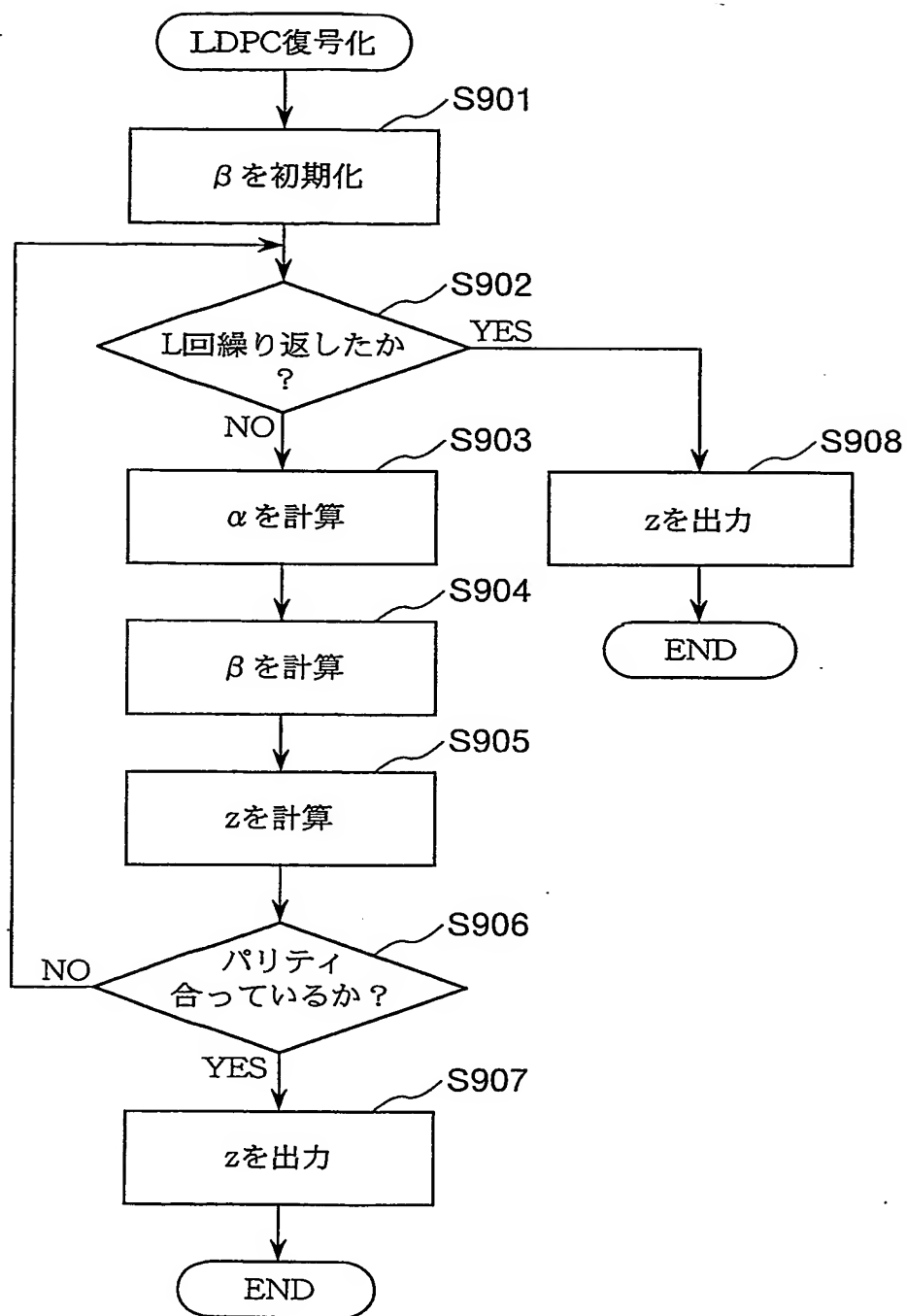


図9

10/10

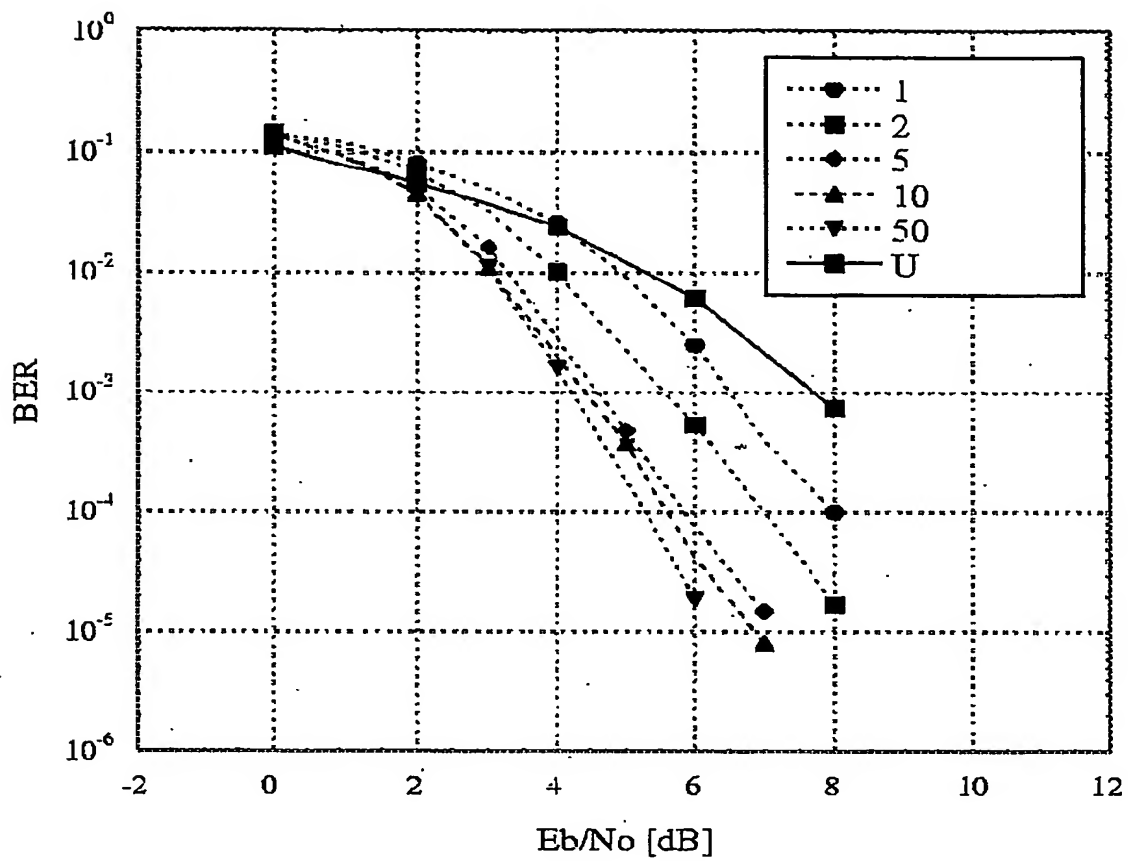


図 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16275

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04J11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04J11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Masatoshi YASU, Iwao SASASE, "Convolutional Coded Coherent and Differential Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Antennas system", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.392, 22 October, 2002 (22.10.02), pages 75 to 80	1-16
A	Naoki YOSHIMUCHI, Tomohiro HIRAMOTO, Atsushi MIZUKI, Iwao SASASE, "Broadband Mobile Channel ni okeru LDPC Fugo o Mochiita Unitary Kukan Jikan Hencho OFDM Hoshiki", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.551, 17 January, 2003 (17.01.03), pages 91 to 96	1-16

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not

"E" considered to be of particular relevance earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 March, 2004 (30.03.04)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2004 (13.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16275

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Bertrand M. Hochwald, Thomas L. Marzetta, "Unitary space-time modulation for multiple-antenne communications in Rayleigh Flat Fading", IEEE Transactions on Information Theory, March 2000, Vol.46, No.2, pages 543 to 564	1-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J11/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	安昌俊、笹瀬巖, "Convolutional Coded Coherent and Differeftial Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Antennas system", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 392, 2002. 10. 22, p. 75-80	1-16

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30. 03. 04

国際調査報告の発送日

13. 4. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高野 洋

5 K

9647

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	吉持直樹、平本知宏、水木篤志、安昌俊、笹瀬巖, “ブロードバンドモバイルチャネルにおけるLDPC符号を用いたユニタリ空間時間変調OFDM方式”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 551, 2003. 01. 17, pp. 91-96	1-16
A	Bertrand M. Hochwald, Thomas L. Marzetta, “Unitary space-time modulation for multiple-antenna communications in Rayleigh Flat Fading”, IEEE Transactions on Information Theory, March 2000, Vol.46, No.2, pp.543-564	1-16